



DLR Institut für Verkehrsforschung  
Institut für Fahrzeugkonzepte



Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität**

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Analyse der STROM-Projekte zur inhaltlichen Ausrichtung der  
Begleitforschung und des Technologie-Monitorings**

Benjamin Frieske, Matthias Klötzke  
Arne Hörtl, Markus Mehlin

DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF)  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin

DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Juli 2012



<b>I.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inhalte des Arbeitspapiers .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Analyse der STROM-Einzelprojekte .....</b>	<b>6</b>
2.1	ÜBERBLICK ÜBER DIE STROM-EINZELPROJEKTE .....	6
2.2	DATENGRUNDLAGE UND VORGEHENSWEISE.....	8
2.3	STRUKTURELLER RAHMEN DER PROJEKTE .....	8
<b>3</b>	<b>Ergebnisse der Projektanalyse.....</b>	<b>11</b>
3.1	THEMATISCHE SCHWERPUNKTE DER PROJEKTE .....	11
3.2	TECHNOLOGIE-CLUSTER UND SUCHFELDER.....	11
3.3	SCHLÜSSELPARAMETER .....	13
3.4	FAHRZEUGKONZEPTE .....	15
3.5	ERGÄNZENDE INFORMATIONEN ZU DEN PROJEKTEN.....	18
3.5.1	<i>Zielgruppen.....</i>	<i>18</i>
3.5.2	<i>Normierung, Standardisierung und Patentierung.....</i>	<i>18</i>
3.5.3	<i>Internationaler Vergleich von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.....</i>	<i>19</i>
<b>4</b>	<b>Fazit der Projektanalyse .....</b>	<b>21</b>
<b>III.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>23</b>



## I. Abkürzungsverzeichnis

<b>AP</b>	Arbeitspaket
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>DLR</b>	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
<b>EURO NCAP</b>	European New Car Assessment Programme
<b>F&amp;E</b>	Forschung und Entwicklung
<b>FVK</b>	Faserverstärkter Kunststoff
<b>IGBT</b>	Insulated Gate Bipolar Transistor
<b>Li-Ion</b>	Lithium-Ionen
<b>NPE</b>	Nationale Plattform Elektromobilität
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>STROM</b>	Förderprogramm des BMBF: Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität

### STROM-Projekte:

<b>1PeFZ</b>	Umsetzung eines neuartigen Einpersonen-Elektroleichtfahrzeuges im Sinne eines Gesamtsystemansatzes
<b>E2V</b>	Elektromobilitätskonzepte mit teilautonomen Fahrzeugen
<b>e generation</b>	Schlüsseltechnologien für die nächste Generation der Elektrofahrzeuge
<b>E-Komfort</b>	Innovative Klimatisierungs- und thermische Komfortkonzepte zur Optimierung der Reichweite von Elektrofahrzeugen
<b>ELANi</b>	Elektrischer Antrieb Niedervolt
<b>e-MoSys</b>	Entwicklung und prototypische Umsetzung eines anforderungsgerechten modularen Antriebs- und Fahrwerksystems für ein Elektrofahrzeug
<b>EMOTOR</b>	Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität
<b>e production</b>	Produktionsforschung zu Hochvoltspeichersystemen für die Elektromobilität
<b>Go Innvelo</b>	Innovatives Fahrzeugkonzept für Ballungszentren
<b>HI-Level</b>	Hochstromleiterplatten als Integrationsplattform für Leistungselektronik von Elektrofahrzeugen
<b>HotPowCon</b>	Fügewerkstoff-, Verfahrens- und Anlagenentwicklung zum Aufbau neuer elektronischer Leistungsbaugruppen für elektrische Antriebs- und Energiemanagementkonzepte mit Betriebsspitzentemperaturen bis 300°C für Elektrofahrzeuge
<b>iFlux</b>	Innovative Antriebe und Leistungselektronik für künftige Elektrofahrzeuge
<b>KAIROS</b>	Keramische Aufbau- und Integrationstechnik für robuste Signal- und Leistungselektronik
<b>MHF4EV</b>	Modularer Hochfrequenzumrichter für die nächste Generation von Elektrofahrzeugen
<b>P&amp;P Range Extender</b>	Erforschung eines Plug & Play Range Extender Moduls zur onboard Stromerzeugung in Elektrofahrzeugen
<b>ResCar 2.0</b>	Robuster Entwurf von Standardkomponenten für Anwendungen in der Automobilelektronik/Elektromobilität
<b>RoBE</b>	Robustheit für Bonds im E-Fahrzeug
<b>SEB</b>	Schnellladesysteme für Elektrobusse im ÖPNV
<b>STROMbegleitung</b>	Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität
<b>VeloCité</b>	Schlüsselkomponenten für die Mikroelektromobilität im innerstädtischen Individualverkehr
<b>VisioM</b>	Visionäres Fahrzeugkonzept für die urbane Elektromobilität



## II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Leitung der STROM-Projekte .....	9
Abbildung 2: Verteilung der Fördersumme auf die Forschungsbereiche.....	10
Abbildung 3: Thematische Schwerpunkte der STROM-Projekte .....	11
Abbildung 4: Projektanalyse – Parameter "Fahrzeugkonzepte" (Auszug) .....	14
Abbildung 5: Projektanalyse – Parameter "Elektromotor" und "Leistungselektronik" (Auszug).....	15
Abbildung 6: Fahrzeugkonzept-Datenbank – Marktliche Indikatoren (Auszug).....	17
Abbildung 7: Fahrzeugkonzept-Datenbank – Technologische Indikatoren (Auszug) .....	17
Abbildung 8: Zielgruppen der STROM-Forschung .....	18
Abbildung 9: STROMbegleitung – Technologie-Radar (Illustration) .....	23
Abbildung 10: Laufzeiten der STROM-Projekte.....	24
Abbildung 11: Interview-Leitfaden Projektanalyse .....	25



## 1 Inhalte des Arbeitspapiers

Die „Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität“ (im Folgenden „STROMbegleitung“ genannt) wird im Rahmen der im Jahr 2009 veröffentlichten BMBF-Förderbekanntmachung Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM) durchgeführt und dient der wissenschaftlichen Begleitung und Beforschung der im Rahmen dieser Bekanntmachung gestarteten F&E-Projekte. Das BMBF initiierte mit der Förderbekanntmachung STROM Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Gesamtfahrzeugsysteme, Batterieentwicklung und -integration, Energiemanagement sowie der entsprechenden Werkstoff- und Materialforschung. STROM war, nach Fördervorhaben im Rahmen des Konjunkturpaketes II, die erste Maßnahme zur Umsetzung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“. Die Themen orientieren sich an Empfehlungen externer Experten und sind konsistent mit den Inhalten und Zielen der Arbeitsgruppen „Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration“ und „Batterietechnologie“ der im Jahr 2010 ins Leben gerufenen „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE)<sup>1</sup>.

### Ziele der STROMbegleitung

Im Rahmen der STROMbegleitung werden unterschiedliche Ziele verfolgt, die zusammen ein umfassendes Bild über den Stand der Technik und die Potenziale vielversprechender technologischer Lösungen der Elektromobilität ermöglichen sollen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Identifikation und Analyse aktueller und zukünftiger Trends der Fahrzeugkonzept- und Technologieentwicklung sowie in der Einordnung der deutschen Aktivitäten in den internationalen Kontext. Im Detail orientiert sich die Begleitforschung an den folgenden Forschungsfragen:

- Welche generellen technologischen und marktlichen Trends zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Was ist der State-of-the-art bei den Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und welches zukünftige Entwicklungspotenzial besitzen diese?
- Wie tragen die im Rahmen der STROM-Ausschreibung geförderten Projekte zur Technologieentwicklung bei? Welche Herausforderungen, Grenzen und Hürden bestehen bei der Entwicklung spezieller technischer Lösungen?
- Welchen Stand hat die Technologieentwicklung im nationalen und internationalen Vergleich?
- Welche Förderschwerpunkte können in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden und welche Zielgruppen werden adressiert?
- Welche ökonomischen, ökologischen und technischen Auswirkungen haben die Schlüsseltechnologien auf das zukünftige Gesamtsystem Fahrzeug?
- Wie sehen die Ökobilanzen für Treibhausgasemissionen und Schadstoffemissionen („Well-to-Wheel“) der Schlüsseltechnologien und Fahrzeugkonzepte aus?

Die wissenschaftlich fundierte Beantwortung der genannten Aspekte und Fragen wird es u.a. erlauben, das Förderprogramm STROM und die beforschten Schlüsseltechnologien in die internationalen Forschungsaktivitäten einzuordnen und Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung staatlicher Förderprogramme und für andere politische Entscheidungen zu geben.

---

<sup>1</sup> Die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) hat zum Ziel, den Markteintritt innovativer Elektrofahrzeuge in systemischer, markt-orientierter und technologieoffener Form zu beschleunigen. Deutschland soll dabei bis zum Jahr 2020 Leitanbieter und Leitmarkt der Elektromobilität werden.



## **Aufgaben der Projektpartner zur STROMbegleitung**

Das DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF, Berlin) bearbeitet ausgewählte Aspekte des Technologie-Monitorings und beteiligt sich am Arbeitspaket zu den Perspektiven der Elektromobilität (Roadmaps, Förderbindungen) in den USA. Das DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK, Stuttgart) ist hauptverantwortlich für die Durchführung des globalen Technologie-Monitorings und die Erstellung technologischer Trend- und Marktanalysen. Das Wuppertal Institut analysiert Förderprogramme, Perspektiven und Marktentwicklungen in den Regionen OECD-Amerika/USA, OECD-Asien/Japan, OECD-Europa/Europäische Union, China, Rest der Welt/Indien und erarbeitet zudem detaillierte Ökobilanzen zu Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und zukünftigen Fahrzeugkonzepten.

## **2 Analyse der STROM-Einzelprojekte**

### **2.1 Überblick über die STROM-Einzelprojekte**

Zur inhaltlichen Ausrichtung der STROMbegleitung wurden in einem ersten Schritt alle 14 Projekte analysiert, die an der STROM-Kick-Off-Veranstaltung am 17.10.2011 in Bonn teilgenommen haben und dem BMBF Referat 523 „Elektroniksysteme, Elektromobilität“ zugeordnet sind. Diese Projekte sind vom BMBF in drei übergeordnete Bereiche zusammengefasst worden und umfassen im Einzelnen:

- **Gesamtsystem:**
  - E2V: Elektromobilitätskonzepte mit teilautonomen Fahrzeugen
  - 1PeFZ: Umsetzung eines neuartigen Einpersonen-Elektroleichtfahrzeuges im Sinne eines Gesamtsystemansatzes
  - ELANi: Elektrischer Antrieb Niedervolt
  - Go Innvelo: Innovatives Fahrzeugkonzept für Ballungszentren
- **Energie- und Thermomanagement:**
  - E-Komfort: Innovative Klimatisierungs- und thermische Komfortkonzepte zur Optimierung der Reichweite von Elektrofahrzeugen
  - KAIROS: Keramische Aufbau- und Integrationstechnik für robuste Signal- und Leistungselektronik
  - HotPowCon: Fügwerkstoff-, Verfahrens- und Anlagenentwicklung zum Aufbau neuer elektronischer Leistungsbaugruppen für elektrische Antriebs- und Energiemanagementkonzepte mit Betriebsspitzen Temperaturen bis 300°C für Elektrofahrzeuge
  - MHF4EV: Modularer Hochfrequenzumrichter für die nächste Generation von Elektrofahrzeugen
  - HI-Level: Hochstromleiterplatten als Integrationsplattform für Leistungselektronik von Elektrofahrzeugen
  - P&P Range Extender: Erforschung eines Plug & Play Range Extender Moduls zur onboard Stromerzeugung in Elektrofahrzeugen
- **Antriebsystem:**
  - iFlux: Innovative Antriebe und Leistungselektronik für künftige Elektrofahrzeuge
  - e-MoSys: Entwicklung und prototypische Umsetzung eines anforderungsgerechten modularen Antriebs- und Fahrwerksystems für ein Elektrofahrzeug
  - ResCar 2.0: Robuster Entwurf von Standardkomponenten für Anwendungen in der Automobilelektronik/Elektromobilität
  - RoBE: Robustheit für Bonds im E-Fahrzeug



Im Forschungsbereich Gesamtsystem werden unterschiedliche ein- oder zweispurige Fahrzeugkonzepte entwickelt und erprobt. Dabei soll eine hohe Energieeffizienz bei einer möglichst geringen Fahrzeugmasse und niedrigen Herstellungskosten erzielt werden. Im Rahmen des Karosseriebaus spielt die Materialwahl für den Leichtbau und die Crashesicherheit eine wichtige Rolle. Es werden in diesem Bereich von dem Projekt ELANi zweirädrige, von Go Innvelo und E2V dreirädrige und von 1PeFZ vierrädrige Ein- bzw. Zweipersonenfahrzeuge als Demonstratoren entwickelt. Über die Entwicklung hinaus werden von diesen Projekten unterschiedliche Nutzungskonzepte für private und dienstliche Zwecke untersucht.

Die Forschungsschwerpunkte im Bereich Energie- und Thermomanagement sind Schnittstellentechnologien zwischen dem Antriebssystem und der Leistungselektronik. Neben der Forderung nach einem leistungsstarken Antrieb muss das Antriebssystem temperaturbeständig sein, was wiederum Anforderungen an das Material und die Kühltechnik stellt. Dazu werden in den Projekten KAIROS, MHF4EV und HI-Level hocheffiziente Leistungselektronikkomponenten und Verfahren zur Herstellung von temperaturbeständigen Leistungsbaugruppen erforscht. Ziel ist es, eine hohe Zuverlässigkeit der Bauteile für das Gesamtfahrzeugkonzept sicherzustellen. Die Integration von Range Extendern spielt neben der Leistungselektronik, der Batterie und dem Getriebe eine wichtige Rolle für das Gesamtfahrzeugkonzept und wird im Projekt Plug&Play Range Extender untersucht. Wie man am speziellen Beispiel des Projekts E-Komfort sieht, kann neben der Effizienzsteigerung in der Fahrzeugelektronik Energie auch bei der Wärmezufuhr in der Fahrgastzelle eingespart werden.

Im Bereich Antriebssysteme spielt bei den Projekten ResCar 2.0 und RoBE die Robustheit der Schaltelektronik eine wesentliche Rolle. Für die hochkomplexen Bauteile der Leistungselektronik muss eine Mindestlebensdauer gewährleistet sein und Ausfallraten müssen reduziert werden. Im Projekt iFlux werden in Verbindung mit der Leistungselektronik neuartige Antriebsaggregate für den Einsatz in Elektrofahrzeugen erprobt, in diesem Fall die Transversalflossmaschine. Wesentliche Herausforderung hierbei ist die Wahl eines geeigneten Materials und einer geeigneten Bauweise der Antriebseinheit mit der Realisierung einer hohen Leistungsdichte bei geringem verfügbarem Bauraum zu verbinden. Wie das Projekt e-MoSys zeigt, stellt der Fahrzeugaufbau eines Elektroautos auch neue Anforderungen an Prüfstände, welche bisher auf Verbrennungsmotoren ausgelegt waren.

In einem zweiten Schritt wurden weitere fünf STROM-Projekte in die Analyse integriert. Diese sind erst nach der STROM-Kick-Off-Veranstaltung gestartet, so dass die STROMbegleitung erst Kontakte zu den jeweiligen Projektleitungen etablieren und geeignete Informationen zu Projektinhalten und -zielen gewinnen musste, bevor eine sinnvolle Analyse durchgeführt werden konnte.

Das Projekt „VisioM: Fahrzeugkonzept für die urbane Elektromobilität“ startete im März 2012. Aus den zur Verfügung gestellten Informationen der Antragssteller ging hervor, dass als Versuchsträger des Projekts das Fahrzeugkonzept MUTE genutzt wird. Auf diesem Konzept aufbauend werden im Projekt VisioM technologische Entwicklungen u.a. in den Schwerpunktbereichen Leichtbau, Sicherheit und Thermomanagement angestrebt. Es wurde von der STROMbegleitung nachträglich in die Projektanalyse aufgenommen.

Zu den Projekten e generation (Projektstart: Januar 2012) und e production (Dezember 2011) waren bis zum Abschluss des Arbeitspakets und der Projektanalyse keine ausreichenden Informationen verfügbar, sodass deren Analyse auf einen noch späteren Zeitpunkt verschoben werden muss. Die STROMbegleitung wird weiterhin versuchen den Kontakt zu den jeweiligen Projektleitern herzustellen und – falls möglich – die Projektinhalte sinnvoll in das Konzept des Technologie-Monitorings zu integrieren.

Die Projekte „Schnelladesysteme für Elektrobusse im ÖPNV“ (SEB) und „Schlüsselkomponenten für die Mikroelektromobilität im innerstädtischen Individualverkehr“ (VeloCité) starteten ebenfalls erst nach dem STROM-Kick-Off (Februar 2012 bzw. Dezember 2011) und wurden deshalb im späteren Verlauf der Projektanalyse betrachtet. SEB thematisiert Aspekte des elektrischen Antriebs von städtischen Linienbussen und deren Energiespeichern. Betrachtet werden hier hauptsächlich Konzepte zur Aufladung von Energiespeichern in Bussen während der Fahrt. Das Projekt VeloCité beforscht im Bereich „Klein-Elektrofahrzeuge“ Komponenten eines Leichtbaufahrrads aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK). Im



Fokus steht hier auch die Demonstration eines innovativen Antriebs für ein Elektro-Fahrrad, der auf einem Transversalflussmotor basiert. Dieser ist für die Entwicklung technologischer Antriebslösungen im Bereich Elektromobilität zwar generell relevant, stellt aber durch den speziellen Einsatz im Bereich der Mikroelektromobilität andere Anforderungen an das Antriebssystem und ist deshalb technologisch nur schwer mit elektrifizierten PKW-Fahrzeugkonzepten vergleichbar. Da diese beiden Projekte thematisch außerhalb des Forschungsschwerpunkts der STROMbegleitung liegen (siehe auch Fazit der Projektanalyse), werden die speziellen technologischen Lösungen nicht intensiver wissenschaftlich beforscht. Trotzdem sollen auch diese Projekte begleitet und z.B. zu den geplanten Workshops und Veranstaltungen eingeladen werden.

Mit diesem Überblick lässt sich festhalten, dass die STROM-Projekte sehr unterschiedlichen Forschungsfeldern im Bereich der Elektrofahrzeuge zuzuordnen sind. Eine Aussage über die Relevanz einzelner Technologien ist allein mit diesen Informationen schwer zu treffen. Aus diesem Grund wurden die Projekte einer genaueren Analyse unterzogen. Diese wird im Folgenden näher erläutert.

## 2.2 Datengrundlage und Vorgehensweise

In einem ersten Schritt der Projektanalyse wurden die Projektpräsentationen der STROM-Kick-Off Veranstaltung herangezogen und z.T. ergänzende Informationen über Veröffentlichungen, Projektbeschreibungen oder Pressemitteilungen genutzt, um ein umfassendes Bild der Projekthinhalte zu generieren. Der Detailgrad des verfügbaren Materials war allerdings sehr unterschiedlich, so dass technische Details zu beforschten Technologien beispielsweise im Projekt HI-Level einfacher zu identifizieren waren als im Projekt E-Komfort. Die gewonnenen Informationen über die einzelnen Projekte wurden strukturiert, in eine Datenbank übertragen und kontinuierlich ergänzt, sobald weitere Informationen gesichtet werden konnten.

In einem weiteren Schritt wurden Gespräche mit den Projektleitern gesucht, um das Verständnis für die jeweiligen Projekthinhalte wo nötig zu vertiefen und die beforschten Schlüsseltechnologien eindeutiger benennen zu können. Hierzu sind leitfadengestützte Telefon-Interviews mit den Einzelprojekten vereinbart worden, die bei insgesamt 9 von 14 analysierten STROM-Projekten durchgeführt werden konnten. Der Interview-Leitfaden ist im Anhang in **Abbildung 11** dargestellt. Das Gespräch mit den Projektleitern wurde darüber hinaus genutzt, um das Konzept der STROMbegleitung näher zu erläutern und auf die geplanten Workshops aufmerksam zu machen.

## 2.3 Struktureller Rahmen der Projekte

Die jeweilige Projektleitung obliegt mehrheitlich OEMs in den Projekten ELANi, E-Komfort, iFlux und RoBE oder Zulieferern der Automobilindustrie in den Projekten 1PeFZ, HI-Level, HowPowCon, KAIROS, MHF4EV, P&P Range Extender, e-MoSys und RESCAR 2.0. Ausnahmen stellen die Projekte E2V und Go Innvelo dar, bei denen eine Universität bzw. ein Forschungsinstitut das Konsortium leitet. **Abbildung 1** zeigt eine Übersicht, welche Institutionen als Projektleiter in den einzelnen STROM-Projekten fungieren.



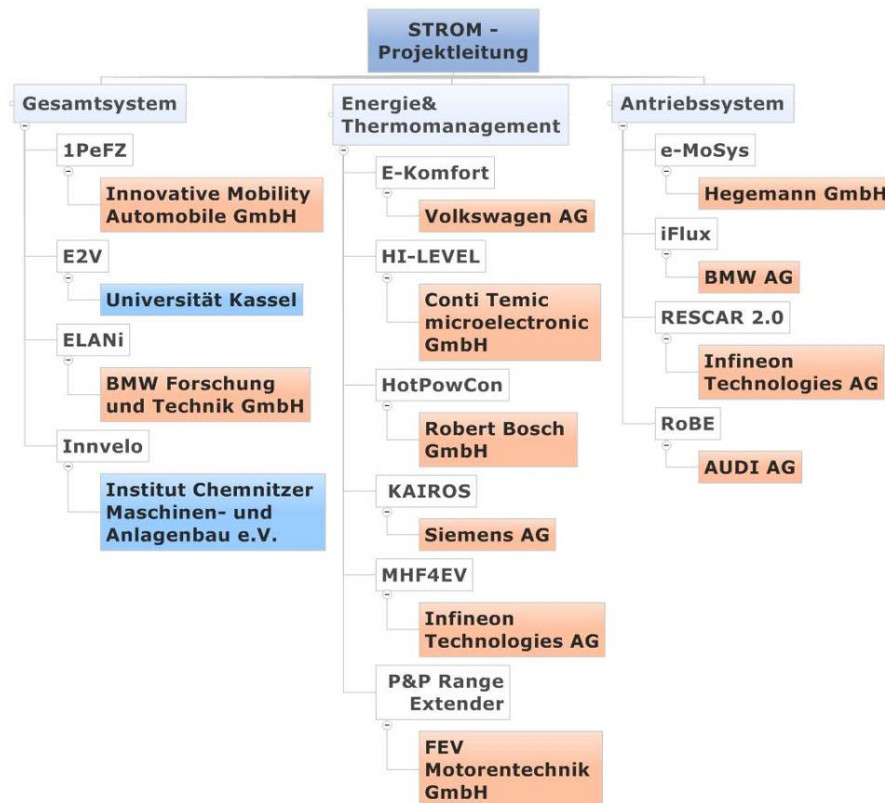


Abbildung 1: Leitung der STROM-Projekte

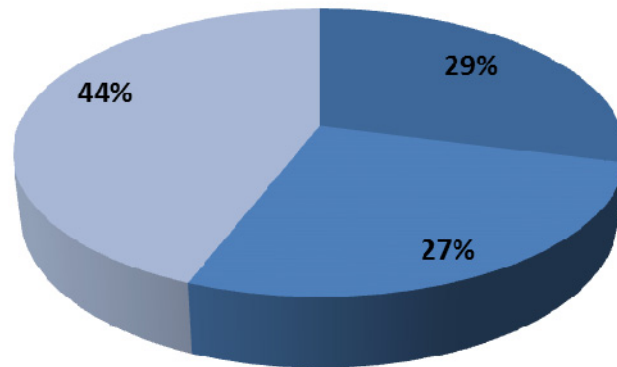
Insgesamt sind von 27 Unternehmen und Instituten der Konsortien im Bereich „Gesamtsystem“ fünf nicht-industrielle Partner. Im Bereich „Energie- und Thermomanagement“ sind es acht von insgesamt 32 Partnern und im Bereich „Antriebssysteme“ drei von 25 Partnern. Es ist jedoch in jedem Konsortium mindestens eine Forschungseinrichtung vertreten.

Im Anhang (**Abbildung 10**) sind die Laufzeiten der Projekte in einer Tabelle gegenüber gestellt. Die STROM-Projekte laufen alle parallel im Zeitraum Oktober 2011 bis August 2013. Die STROMbegleitung wird diesen Zeitraum zur Planung und Durchführung der Workshops und der Regionalstudien nutzen, um (Zwischen-)Ergebnisse und relevante Informationen aus den begleitenden Analysen rückzuspiegeln und möglichst allen STROM-Einzelprojekten zur Verfügung zu stellen.

Das Gesamtfördervolumen des STROM-Förderprogramms im Referat 523 beläuft sich auf 85 Mio. € (Stand Dezember 2011). Zur Veranschaulichung wurde die Summe auf die drei Forschungsbereiche umgelegt:



■ Gesamtsystem ■ Energie-/Thermomanagement ■ Antriebssystem



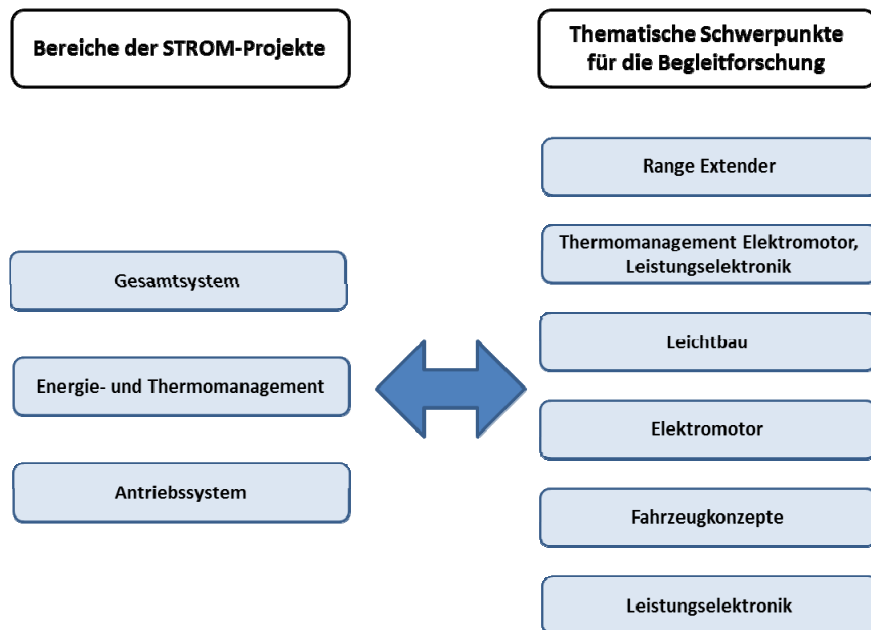
**Abbildung 2:** Verteilung der Fördersumme auf die Forschungsbereiche

Es ist erkennbar, dass der Großteil der Fördermittel im Bereich Antriebssystem verortet ist (insgesamt 37,5 Mio. €) und sich der Restbetrag gleichmäßig auf die Bereiche Energie-/ Thermomanagement (22,8 Mio. €) und Gesamtsystem (24,7 Mio. €) verteilt. Bei Gegenüberstellung des jeweiligen Projektvolumens mit den drei Forschungsbereichen stellt sich heraus, dass das Thema Leistungselektronik in vielen Projekten eine wichtige Rolle spielt und dementsprechend stark monetär gefördert wird. Materialforschung, Antriebssysteme und das Thermomanagement scheinen insgesamt weniger aber untereinander ähnlich intensiv gefördert zu werden.

### 3 Ergebnisse der Projektanalyse

#### 3.1 Thematische Schwerpunkte der Projekte

Ein wesentliches Ziel der Projektanalyse war es, die STROM-Projekte thematisch in der Weise zu strukturieren, dass eine sinnvolle und effiziente Begleitung durch das Technologie-Monitoring ermöglicht wird. Aufbauend auf der Analyse der individuellen Inhalte, Ziele und Forschungsschwerpunkte der Einzelprojekte wurden deshalb die thematischen Schwerpunkte in den drei Bereichen „Gesamtsystem“, „Energie und Thermomanagement“ sowie „Antriebssystem“ identifiziert. Teilweise beforschen einzelne Projekte mehrere Schwerpunkte, so thematisiert beispielsweise das Projekt ELANi Technologien im Bereich Fahrzeugkonzepte, Elektromotoren, Leistungselektronik und Leichtbau. **Abbildung 3** stellt die thematischen Schwerpunkte der STROM-Projekte grafisch dar.



**Abbildung 3:** Thematische Schwerpunkte der STROM-Projekte

#### 3.2 Technologie-Cluster und Suchfelder

##### Technologie-Cluster

Insgesamt bilden nun 6 thematische Bereiche das komplette Spektrum der Schlüsseltechnologien in den STROM-Projekten – mit Ausnahme des Batteriesystems – ab.<sup>2</sup> Diese Bereiche werden im Weiteren als „Technologie-Cluster“ bezeichnet und definieren sowohl die generellen inhaltlichen Stoßrichtungen als auch die Leitplanken, innerhalb derer das Technologie-Monitoring durchgeführt wird. Die STROMbegleitung plant für jeden Cluster u.a. Analysen zu übergeordneten technologischen und marktlichen Trends sowie regional differenzierten Förderbedingungen zu generieren.

<sup>2</sup> Das Batteriesystem als weitere Schlüsseltechnologie wird von der Begleitforschung „EMOTOR“ behandelt.



## Suchfelder

Tiefergehend werden innerhalb jedes Clusters einzelne Schlüsseltechnologien im Detail betrachtet. Hierfür sind v.a. diejenigen technologischen Lösungsansätze relevant, für die im Rahmen der STROM-Einzelprojekte konkrete Entwicklungsziele definiert oder die vom DLR und den Interviewpartnern zusätzlich als relevant erachtet wurden. Sie werden im Folgenden als „Suchfelder“ bezeichnet. Auszugsweise sind einige Cluster und dazugehörige Suchfelder in dem im Anhang abgebildeten STROM-Technologie-Radar dargestellt (**Abbildung 9**). Ziel der STROMbegleitung ist es, für jedes Suchfeld und die dazugehörige Schlüsseltechnologie Informationen zum Stand der Technik, zum Entwicklungspotenzial, zu technologischen Herausforderungen, Grenzen und Hürden sowie wesentlichen globalen Akteuren und Förderstrategien zu gewinnen. Hierfür werden unter anderem detaillierte Patent- und Publikationsanalysen sowie Experten-Interviews und Workshops durchgeführt.

Die Aufteilung in übergeordnete Cluster und untergeordnete Suchfelder ermöglicht es der STROMbegleitung insgesamt, die z.T. stark heterogenen Projektziele strukturiert und effizient zu beforschen. So können Informationen zu technologischen Entwicklungen und Trends generiert werden, die sowohl den Interessen des Fördergebers als auch den einzelnen STROM-Projekten gerecht werden.

Im Rahmen der durchgeführten Telefon-Interviews wurden die vom DLR aus der Projektanalyse abgeleiteten Cluster und Suchfelder gezielt zur Diskussion gestellt, um so die Richtigkeit und Vollständigkeit der Analysen zu validieren. Auch Konzepte, die nicht direktes Ziel einer konkreten Technologieentwicklung im Rahmen der STROM-Einzelprojekte sind, jedoch als konkurrierende technologische Lösungen mit hohem Innovationsgehalt identifiziert wurden, kamen zur Diskussion. Diese sind vom DLR und den Interviewpartnern zum großen Teil für eine vergleichende Analyse technologischer Potenziale als relevant bewertet worden, so dass sie ebenfalls – jedoch gegebenenfalls mit geringerem Detailgrad – im Rahmen des Monitorings betrachtet werden sollen.

Die einzelnen Suchfelder innerhalb der 6 Technologie-Cluster werden nachfolgend aufgezählt. Kursiv gekennzeichnet sind diejenigen Felder, die sich aus der Diskussion ergaben und über die eigentlichen Projektziele hinausgehen bzw. diese ergänzen.

- **Fahrzeugkonzepte**
  - Antriebsstrang-Architektur, Crashesicherheit
  - *Conversion Design & Purpose Design, (Teil-) Autonomes Fahren, „Connectivity“ & „Car-to-X-Communication“*
- **Range Extender**
  - 3-Zylinder Reihenmotor, 2-Zylinder Reihenmotor, 1-Zylinder Motor, 2-Zylinder Boxermotor, 2-Zylinder V-Motor, Wankelmotor, Brennstoffzelle
  - *Freikolbenlineargenerator, Mikrogasturbine, Hüttlin-Kugelmotor*
- **Elektromotoren**
  - Gleichstrommotor, Asynchronmotor, Synchronmotor, Transversalfeldmaschine, Material Rotor & Stator, Einsatz Permanentmagnete
  - *Reluktanzmotor, Außenläufermotor*
- **Leistungselektronik**
  - Halbleiter, Hochstromleiterplatten, Wandler, Aufbau- und Verbindungstechnik, Bonds, Keramikplatten, Diffusionspasten



- **Leichtbau**
  - Materialien (Stahl, Aluminium, Magnesium, Kunststoff, Faserverstärkter Kunststoff), Beschichtungen, Bauweisen (Spaceframe, Strangpressprofil, Rahmenstruktur)
- **Thermomanagement**
  - Zeolithkühlung, Flächenheatpipes, GraviThermRail, Luftkühlung, Wasserkühlung

### Zusammenfassung

Insgesamt befassen sich 9 von 15 Projekten mit der direkten Entwicklung oder Beforschung eines Teilaspekts des **Clusters Fahrzeugkonzepte**. Insbesondere relevant ist hierbei die Antriebsstrang-Architektur<sup>3</sup> von hybrid- und vollelektrischen Fahrzeugen, aber auch das Design (Conversion/ Purpose Design) und die Crashesicherheit sind beforschte Suchfelder.

Ein Projekt befasst sich mit der Bewertung und ggfs. Entwicklung verschiedener **Range Extender** Technologien wie z.B. 2-Zylinder Verbrennungskraftmaschinen oder Wankelmotoren.

Fünf Projekte haben die Beforschung von Technologien im **Cluster Elektromotoren** zum Ziel. Mehrheitlich ist hierfür die Synchronmaschine im Fokus der Forschung, aber auch Technologien wie die Transversalflussmaschine oder der Einsatz neuer Materialien für Rotor und Stator werden beforscht.

Neun von 15 Projekten forschen im **Cluster Leistungselektronik**. Insbesondere Entwicklungen in den Suchfeldern „Halbleiter“ und „Wandler“ sind Ziel einzelner Projekte. Weitere Suchfelder umfassen beispielsweise das Thema „Aufbau- und Verbindungstechnik“, „Bonds“ sowie „Hochstromleiterplatten“.

Fünf Projekte befassen sich mit dem **Leichtbau**. Schlüsseltechnologien hier sind v.a. der Einsatz neuartiger Materialien (z.B. Aluminium, Magnesium, Kunststoff) und Bauweisen.

Weitere fünf Projekte thematisieren Aspekte im **Cluster Thermomanagement** für Elektromotor und Leistungselektronik. Hierzu zählen beispielsweise die Zeolithkühlung, Flächenheatpipes sowie neue Lösungen für die Luft- und Flüssigkeits-basierte Kühlung von Komponenten.

### 3.3 Schlüsselparameter

Damit eine objektive, quantifizierbare und vergleichende Bewertung der einzelnen Schlüsseltechnologien stattfinden kann, müssen technologische (Leistungs-)Parameter definiert werden, anhand derer sowohl der aktuellen Stand als auch Grenzen und Entwicklungspotenziale aufgezeigt werden können. Diese sind vom DLR auf Basis von Literaturrecherchen und Experteninterviews vordefiniert und im Rahmen der Telefon-Interviews mit den STROM-Projektleitern gezielt zur Diskussion gestellt worden, um so die Richtigkeit und Vollständigkeit der Analysen zu gewährleisten und Präferenzen abzubilden.

Die einzelnen Parameter werden im Laufe des Monitorings nicht nur genutzt, um den aktuellen Entwicklungsstand relevanter Technologien abzubilden, sie dienen gleichzeitig auch als Inputgrößen bei den geplanten Patent- und Publikationsrecherchen.

Auf eine enumerative Aufzählung der einzelnen Parameter wird auf Grund der Vielzahl an dieser Stelle verzichtet. Jedoch sind in **Abbildung 4** und **Abbildung 5** einige Beispiele in den Bereichen „Fahrzeugkonzepte“ sowie „Elektromotoren“ und „Leistungselektronik“ aufgezeigt. Blau eingefärbte

<sup>3</sup> Die Antriebsstrang-Architektur ist definiert durch die individuelle Auslegung, den Aufbau, die Positionierung und das Zusammenspiel relevanter, zum Vortrieb des Fahrzeugs notwendiger Technologien (z.B. Verbrennungsmotor, Range Extender, E-Maschine, Generator, Batterie, Getriebe).

Punkte kennzeichnen diejenigen Parameter, die zusätzlich von den STROM-Projektleitern vorgeschlagen und während der Telefon-Interviews diskutiert wurden. Diese sollen im Rahmen des Technologie-Monitorings nach Möglichkeit aufgegriffen und ebenfalls berücksichtigt werden.

### Schlüsselparameter Fahrzeugkonzepte

	1.	2.	3.	4.
	1PeFZ	E2V	ELANi	go-Innvelo
<b>Fahrzeugkonzepte:</b>	x	x	x	x
Wirkungsgrad	x			x
Bauraum	x			x
Gewicht				x
Anzahl Komponenten	(x)			
Komplexität Komponenten	(x)			
Anordnung Komponenten	(x)			x
Herstellkosten	x			x
Crashsicherheit NCAP	x			
Ergonomie	x			
Alltagstauglichkeit	x			
Kompaktheit		x		
Wendigkeit		x		
Temperatur der Fahrgastzelle				
Batteriegröße				x
Nutzerfreundlichkeit				

**Abbildung 4:** Projektanalyse – Parameter "Fahrzeugkonzepte" (Auszug)

Insbesondere der Wirkungsgrad des Fahrzeugkonzepts wurde als herausragend relevanter Parameter und übergeordnetes Ziel der Forschungen definiert, v.a. bei den Projekten 1PeFZ und Go Innvelo. Er bestimmt letztendlich den zur Fortbewegung des Fahrzeugs notwendigen Energieeinsatz und damit auch den Verbrauch. Weitere Präferenzen liegen auf der Verbesserung der Parameter Bauraum und Gewicht, auch die Herstellkosten werden in die Definition der Projektziele einbezogen. Anzahl, Komplexität und Anordnung der Komponenten werden erfasst, um die Antriebsstrang-Architektur umfassend abzubilden und vergleichend zu bewerten.

Die blau eingefärbten Vorschläge der Projektleiter zur Definition von Parametern wie z.B. „Ergonomie“, „Alltagstauglichkeit“ sowie „Nutzerfreundlichkeit“ sind zur optimalen Befriedigung bestehender Kundenbedürfnisse zwar relevant, für eine objektive und vergleichende Bewertung im Rahmen des Technologie-Monitorings jedoch weniger geeignet. Diese Aspekte sollen trotzdem im Arbeitspaket 3 „Regionale Übersicht zum Monitoring der Elektromobilitätsarena“ (Regionalstudien) aufgenommen und im internationalen Kontext diskutiert werden.



## Schlüsselparameter Elektromotoren und Leistungselektronik

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
	1PeFZ	E2V	ELANi	go-Innvelo	E-Komfort	HI-LEVEL	HotPow Con	KAIROS	MHF4EV	P&P Range Extender
<b>Elektromotor:</b>	x	x	x	x						
Wirkungsgrad	x									
Leistungsgewicht	x									
Herstellkosten	x			x						
Skalierbarkeit	x			x						
Bauraum/ Packaging	x									
Noise Vibration Harshness	x									
Regel-/ Steuerbarkeit	x									
Zuverlässigkeit	x			x						
Lebensdauer	x									
Überlastbarkeit	x									
Überlastungsschutz thermisch	x			x						
<b>Leistungselektronik:</b>		x	x			x	x	x	x	
Wirkungsgrad						x		x		
Bauraum/ Packaging								x		
Integrationsdichte								x		
Gewicht								x		
Volumen						x		x		
Temperatur (Entwärmung, Temperaturwechselbeständigkeit: Ausdehnungskoeffizient)								x		
Spannung						x				
Skalierbarkeit						x				
Herstellkosten								x		
Robustheit (Temperatur, Spannung, Schwingung, Feuchtigkeit)						x				
Leistungsdichte (Wandler)						x		x		
Topologie (Wandler)								x		
Schaltfrequenz (Wandler)								x		
Taktfrequenz (Wandler)								x		
Regel-/ Steuerbarkeit (Wandler)								x		
Lebensdauer (Wandler)						x		x		

**Abbildung 5:** Projektanalyse – Parameter "Elektromotor" und "Leistungselektronik" (Auszug)

Bei den Elektromotoren wurden alle vom DLR vordefinierten Parameter als relevant erachtet. Hohe Priorität hat hier ebenfalls der Wirkungsgrad der E-Maschine, aber auch das Leistungsgewicht, die Herstellkosten, Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit sind Ziel technologischer Entwicklungen im Rahmen der STROM-Einzelprojekte. Bei der Leistungselektronik war aufgrund der heterogenen Forschungsziele eine Priorisierung der Parameter schwierig. Auch hier ist die Verminderung von Wirkungsgradverlusten Ziel einzelner Projekte (z.B. HI-Level und KAIROS). Wichtige Hinweise bekam die STROMbegleitung zu Möglichkeiten der Bewertung der Parameter „Temperatur“ und „Robustheit“.

## Zusammenfassung

Auf Basis der zum jetzigen Zeitpunkt generierten Informationen sind sowohl die Technologie-Cluster, die Suchfelder als auch die zur Technologiebewertung notwendigen Parameter in vollständigem Umfang definiert. Jedoch sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das Technologie-Monitoring über die gesamte Projektlaufzeit flexibel gehandhabt werden soll, so dass auch neuartige Entwicklungen und Erkenntnisse in die Bewertung aufgenommen werden und Anpassungen des Recherche-Rasters stattfinden können. Die Definition sowohl von Suchfeldern als auch Schlüsselparametern kann somit im Laufe der Forschung – in enger Abstimmung mit den STROM-Einzelprojekten – noch angepasst werden.

## 3.4 Fahrzeugkonzepte

Der Cluster „Fahrzeugkonzepte“ nimmt im Rahmen der Forschungen aufgrund des systemischen, übergeordneten Charakters eine Sonderstellung ein. So münden letztlich alle technologischen Entwicklungen in den Bereichen Elektromotor, Range Extender, Leistungselektronik, Leichtbau und Thermomanagement in Veränderungen des gesamten Fahrzeugkonzepts. Die STROMbegleitung trägt dem dadurch Rechnung, dass nicht nur aktuelle und zukünftige Technologieentwicklungen erfasst sowie technologieorientierte Trendanalysen durchgeführt, sondern auch vergangene und aktuelle marktliche



Entwicklungen sowie zukünftige Markttrends identifiziert und abgeleitet werden. In späteren Arbeitspaketen sind zudem die Auswirkungen technologischer Entwicklungen einzelner Komponenten auf das Gesamtfahrzeug zu simulieren und abzubilden.


Zur Bearbeitung des Clusters „Fahrzeugkonzepte“ wird vom DLR Institut für Fahrzeugkonzepte eine umfangreiche Fahrzeugkonzept-Datenbank entwickelt. Diese fokussiert sowohl auf die Technologien und Komponenten, die im Rahmen der STROM-Projekte beforscht werden, als auch auf weitere, marktliche Entwicklungen. Das Ziel besteht darin, alle alternativen, elektrifizierten Studien, Prototypen, Konzept-, Vorserien- und Serienfahrzeuge ab dem Jahr 2001 in der Datenbank anhand definierter Indikatoren zu erfassen, abzubilden und zu quantifizieren.

Statistische Auswertungen der erfassten Informationen sollen letztlich Aussagen sowohl zu generellen Markttrends elektrifizierter Fahrzeugkonzepte in unterschiedlichen Weltregionen als auch zu speziellen technologischen Trends, die auf die o.g. Technologie-Cluster fokussieren und zusätzliche auch das Technologiefeld „Batterie“ umfassen, liefern.

Obwohl das Batteriesystem nicht von der STROMbegleitung sondern von EMOTOR beforscht wird, soll auf Grund der Relevanz der Batterie für das elektrifizierte Gesamtfahrzeugkonzept und mögliche Trenddarstellungen auch diese in die Betrachtung mit einbezogen werden. Die STROMbegleitung strebt dabei an diese Schnittstelle zur zweiten Begleitforschung aktiv zu nutzen, um einen kontinuierlichen Austausch der Begleitforschungen zu ermöglichen.

Beispielhaft sind in **Abbildung 6** und **Abbildung 7** einige marktliche und technologieorientierte Indikatoren der Fahrzeugkonzept-Datenbank abgebildet.



STROM - Fahrzeugkonzept-Datenbank		
Stand: 21.03.2012		
		
Indikatoren		
Fahrzeugdaten allgemein	Hersteller	Mitsubishi
	Bezeichnung	I-EV
	Jahr	2007
	Messe	IAA
	Fahrzeugsegment	x
	Mini (<3000mm)	
	Klein (<3700mm)	x
	Kompakt (<4200mm)	
	Mittel (<4500mm)	
	Groß (<4800mm)	
	Luxus (>4800mm)	
	Weltregion	x
	Alle	x
	Europa	
	Amerika	
	Asien mit Japan/ China	
	Indien mit Rest of World	
	Fahrzeugaufbau	x
	Limousine	x
	Cabrio	
	Coupe	
	Kombi	
	Nutzungskonzept	x
	Conversion Design	
	Purpose Design	x
	City	x
	Autobahn	
	All-Zweck	
	Gelände	
	Hybrid-Architektur	-
	parallel	-
	seriell	-
	kombiniert	-
	Elektrifizierung	x
	Micro-Hybrid	
	Mild-Hybrid	
	Voll-Hybrid	
	Plug-in-Hybrid	
	Range-extended Electric Vehicle	
	Battery Electric Vehicle	x
	Entwicklungsstatus	x
	Konzept	x
	Prototyp	
	Mock-Up	
	Vorserie	
	Serie	
	Zielgruppe	
	Markteinführung (geplant)	
	Alle	
	Europa	2010
	Amerika	
	Asien mit Japan/ China	2009
	Indien mit Rest of World	
	Zielkosten (EUR)	35.000
	Quelle	Sprint 01/2008
Fahrzeugdaten technisch	Systemleistung (kW)	47
	Höchstgeschwindigkeit (km/h)	130
	Beschleunigung 0-50 (s)	4,5
	Beschleunigung 0-100 (s)	<13
	Leergewicht (kg)	1080
	Anzahl Sitzplätze	4
	Anzahl Türen	4
	Maße (mm)	x
	Länge	3.395
	Breite	1.475
	Höhe	1.600
	Kofferraum (l)	150 + 405
	Tankinhalt (l)	-

**Abbildung 6:** Fahrzeugkonzept-Datenbank – Marktliche Indikatoren (Auszug)

Range Extender	Technologie	-
	3-Zylinder Reihe	-
	2-Zylinder Reihe	-
	1-Zylinder	-
	2-Zylinder Boxer	-
	2-Zylinder V	-
	Wankelmotor	-
	Brennstoffzelle	-
	Mikrogasturbine	-
	Lineargenerator	-
E-Motor	Bauart E-Motor	x
	Gleichstrommotor	
	Synchronmotor	x
	Asynchronmotor	
	Reluktanzmotor	
	Einbauort E-Motor	x
	Zentralmotor	x
	Achsmotor	
	Radnabenmotor	
	Anzahl E-Motoren	1
	Leistung (kW)	x
	Nennleistung	47
	Öko-Modus	32
	Drehmoment (Nm)	180
	Gewicht (kg)	
Batterie	Technologie Batterie	x
	Lithium-Ionen	x
	Lithium-Eisen-Phosphat	
	Lithium-Schwefel	
	Nickel-Metall	
	Zink-Luft	
	Einbauort Batterie	x
	Kofferraum	
	Unterboden	x
	Mittelstrang	
	Verteilt	
	Anzahl Zellen	88
	Spezifische Leistung (kWh)	16 + 20
	Energiedichte (Wh/kg)	
	Leistungsdichte (W/kg)	
	Kapazität (Ah)	
	Spannung (V)	330
	Haltbarkeit	
	Ladezyklen	
	Ladegerät Spannung (V)	220
	Ladegerät Leistung (kW)	50
	Ladezeit (h)	x
	Normal	7
	Schnellladung	0,5
	Gewicht (kg)	200
Leistungselektronik	Gleichrichter	
	Gleichrichter Schaltungsarchitektur	
	Einwegschaltung	
	Brückenschaltung	
	Mittelpunktschaltung	
	Wechselrichter	
	Wechselrichter Schaltungsarchitektur	
	Einphasenschaltung	
	Zweiphasenschaltung	
	Dreiphasenschaltung	
	Spannung	
Leichtbau	Materialien	x
	Stahl	
	Aluminium	x
	Magnesium	
	FKK	
	Crashsicherheit (stars out of 5)	4
	Frontal impact (points)	9,9
	Side impact car (points)	7
	Side impact pole (points)	6
	Rear impact (whiplash) (points)	3,3
	Struktur	x
	Integralbauweise	
	Differentialbauweise	

**Abbildung 7:** Fahrzeugkonzept-Datenbank – Technologische Indikatoren (Auszug)

### 3.5 Ergänzende Informationen zu den Projekten

Neben den Ergebnissen zu den Technologie-Clustern sollten mit der Projektanalyse noch einige zusätzliche Fragen beantwortet werden:

- Wer wird als Zielgruppe der Forschung verstanden?
- Wird eine Normierung oder Standardisierung der Ergebnisse angestrebt?
- Worin besteht besonderes Interesse, wenn es um den internationalen Vergleich von Forschung und Entwicklung geht?

Diese Fragen wurden während der telefonischen Interviews mit den STROM-Projektleitern gestellt. Auf die Antworten wird im Folgenden näher eingegangen.

#### 3.5.1 Zielgruppen

Für die Technologien der STROM-Projekte konnten 4 verschiedene Zielgruppen bzw. -nutzer ermittelt werden: Tier-1 und Tier-2 Zulieferer, OEMs und der Endanwender. Als Endanwender wurden potenzielle private oder dienstliche Nutzer von Fahrzeugen verstanden. Bei etwa der Hälfte der interviewten Projekte kann davon ausgegangen werden, dass zum Ende des STROM-Programms Fahrzeugkonzepte mit fortgeschrittenem Entwicklungsstatus bereit stehen. In den übrigen Projekten wird überwiegend an Einzelkomponenten für Fahrzeugkonzepte geforscht, um so z.B. eine Steigerung des Wirkungsgrads zu erreichen. **Abbildung 8** zeigt die Zuordnung der Projekte zu den einzelnen Zielgruppen.



**Abbildung 8:** Zielgruppen der STROM-Forschung

#### 3.5.2 Normierung, Standardisierung und Patentierung

Von neun interviewten Projekten gaben sieben an, eine Normierung oder Patentanmeldung der Forschungsergebnisse anzustreben. Dies war insbesondere auf Grund des hohen Innovationspotentials der STROM-Forschungen zu erwarten. Allerdings wurde häufig darauf hingewiesen, dass die Patentierbarkeit stark vom Endergebnis oder dem Entwicklungsstand abhängt, der am Ende erreicht wird. Davor gilt es zu



prüfen, ob das Konzept die aktuellen Standards (z.B. zur Straßenzulassung) erfüllt. Wenn eine Normierung als Ziel genannt wurde, stand dies im Zusammenhang mit einer daraus resultierenden Kostenreduktion für die Hersteller. In einigen Interviews stellte sich heraus, dass sich Projektteilnehmer bereits in sogenannten Normierungskreisen (Zusammenschlüsse von Zulieferern und OEMs, insbesondere der Leistungselektronik) engagieren, um gemeinsame Standards für zukünftige Entwicklungen festzulegen.

Das STROM-Projekt 1PeFZ, gab beispielsweise als Ziel an, das entwickelte Fahrzeugkonzept den Anforderungen der EG-Fahrzeugklasse „L7e“ für leichte Elektrofahrzeuge (Leermasse  $\leq 400$  kg ohne Batterie, max. Nutzleistung 15 kW) entsprechen zu lassen. Als ein wesentliches Ziel wurde von den Projekten VisioM, Innvelo und 1PeFZ die Einhaltung von Standards zur Crashesicherheit (Anforderungen des Euro NCAP) im Bereich Leichtbau genannt.

### **3.5.3 Internationaler Vergleich von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten**

Wenige STROM-Projektleiter konnten eine konkrete Weltregion nennen, die aus ihrer Sicht für das Monitoring besonders interessant sein könnte. Die am häufigsten genannten Regionen mit hohem Entwicklungspotenzial im Bereich Elektromobilität waren China, Korea und Japan. Aus diesen Regionen gäbe es allerdings wenig bis keine Informationen zu Einzeltechnologien bzw. zum aktuellen Entwicklungsstand der Konzepte. Besonders relevant wäre es aus Sicht der Projektleiter zu erfahren, wie nahe am Markt bzw. wie alltagstauglich die dort erarbeiteten Fahrzeugkonzepte sind. Daraus leitet sich auch die Frage ab, ob ausländische Konzepte europäische Standards erfüllen können und dadurch überhaupt vergleichbare Entwicklungen darstellen.

Damit eine vergleichende Bewertung von Fahrzeugkonzepten im globalen Umfeld stattfinden kann, zieht die STROMbegleitung deshalb objektive, quantifizierbare Indikatoren heran.

Beispielhaft werden im Folgenden weitere Themenkomplexe genannt, die von den STROM-Projektleitern im Rahmen des internationalen Vergleichs von F&E-Aktivitäten als besonderes relevant erachtet wurden.

#### **Marktwahrscheinlichkeit**

Es wurde darauf hingewiesen, dass zwar auf Messen vorgestellte Fahrzeugkonzepte z.T. bekannt sind, es jedoch keine weiterführenden Informationen über die Alltagstauglichkeit (Reichweite, Leistung, Akzeptanz) gibt. Dabei spielt es eine wichtige Rolle, ob es sich um reine Forschungsfahrzeuge, Prototypen im Vorserienstatus oder bereits marktreife Produkte handelt. Ein verworfenes Konzept könnte Hinweise darüber liefern, auf was man bei der zielführenden Entwicklung achten muss.

Die STROMbegleitung greift diese Hinweise auf und wird im Rahmen der Fahrzeugkonzept-Datenbank deshalb auch den Entwicklungsstand der einzelnen Fahrzeugkonzepte erfassen.

#### **Konzepte zum Gesamtsystem**

Geplante oder einsatzbereite Elektrofahrzeuge, welche z.B. in den öffentlichen Verkehr integriert werden, könnten zum Vergleich interessant sein. Die Projekte E2V und Go Innvelo befassen sich mit diesem Ansatz für zwei deutsche Städte. Daran schließt die Frage an, für welchen Bereich sich Elektrofahrzeuge einsetzen lassen und ob sich daraus für STROM-Entwicklungen neue Zielgruppen definieren lassen. Relevante Informationen zur Bewertung der Systeme wären dann beispielsweise Leistung, Stückzahlen oder Fahrgastraum der Fahrzeuge.

Auch Informationen zu geplanten oder möglichen Zielgruppen in Verbindung mit dem Aufbau des Fahrzeugs (Sitzplätze, Anzahl Türen, etc.) werden deshalb in der Fahrzeugkonzept-Datenbank, falls möglich, erfasst. Ebenso sollen Informationen zu geplanten Stückzahlen generiert und abgebildet werden.

### **Verfahren zur Herstellung und Recycling von Materialien**



Insbesondere Materialforschern im Bereich Leichtbau oder Leistungselektronik stellt sich die Frage nach Verfahren zur Herstellung von robusten Bauteilen unter Verwendung von unterschiedlichen Materialkombinationen. Eine Herausforderung ist hierbei die Erfüllung der Crashesicherheit der Fahrzeuge, die Temperaturbeständigkeit der Elektronikbauteile und Definition möglicher End-of-Life Konzepte, z.B. über Recycling. Einige Projekte aus Europa konnten zu diesen Themen genannt werden, weltweite Forschungsergebnisse waren nicht bekannt.

Die STROMbegleitung erfasst den Stand der Technik und das Entwicklungspotenzial unterschiedlicher Materialien im Leichtbau sowie im Bereich Leistungselektronik (Halbleiter). „Robustheit“ wurde als Schlüsselparameter definiert und soll im Rahmen der Analysen quantifiziert werden. Die Betrachtung unterschiedlicher Recycling-Konzepte ist integraler Bestandteil der vom Wuppertal Institut geplanten Ökobilanzierungen.

### **Synergieeffekte und Schnittstellen**

Die Vernetzung von OEMs, Zulieferern und Forschungsinstituten zur technologischen Weiterentwicklung von Elektrofahrzeugen wird in Deutschland mit öffentlichen Förderprogrammen eingeleitet und zielorientiert unterstützt. Von den Projektleitern angeregt wurde die Untersuchung ergänzender Formen der Vernetzung, so z.B. zwischen Nur-Industrieunternehmen in speziellen Bereichen der Leistungselektronik oder zwischen Industrie und Forschung im Rahmen eines internationalen Vergleichs. Innovationen entstünden gerade aus dieser interdisziplinären Zusammenarbeit, wie ein Projektleiter hervorhob.

Analysen von Förderstrategien und -schwerpunkten im globalen Umfeld werden über die von der STROMbegleitung durchgeführten Regionalstudien abgedeckt. Hierbei sollen ebenfalls exemplarische Projekte mit Leuchtturmcharakter identifiziert und wenn möglich die Struktur von Projektverbünden aufgezeigt werden.

### **Standards für Neuentwicklungen**

Fehlende Information zu Standards für Elektrofahrzeuge macht aus Sicht der Projekte die Vergleichbarkeit der eigenen Forschungsarbeiten schwer. Es gäbe grundsätzlich wenig Felderfahrung mit Elektromobilität, auf welche man zurückgreifen könnte. Hersteller und Zulieferer in Deutschland müssten laut den Projektverantwortlichen hohe Anforderungen für die Zulassung ihrer Produkte erfüllen, was unter Umständen nicht für alle Weltregionen gilt. Großes Interesse besteht auch daran, ob Informationen über jeweilige Regelungen und Bestimmungen im europäischen und globalen Umfeld für Elektrofahrzeuge existieren, beispielsweise zum Thema Fahrersicherheit und Leistungsbereiche.

Auch diese Aspekte sollen in den Regionalstudien in Arbeitspaket 3 thematisiert werden.



## 4 Fazit der Projektanalyse

Grundsätzlich wurde erkannt, dass die Forschungsschwerpunkte der STROM-Projekte sehr unterschiedlich sind und das Konzept des Technologie-Monitorings individuell angepasst und flexibel gehandhabt werden muss, um wissenschaftlich fundierte Ergebnisse zu generieren. Die STROM-Einzelprojekte thematisieren sowohl Entwicklungen im Bereich Gesamtfahrzeugkonzepte als auch einzelner Fahrzeugkomponenten. Relevante Komponenten umfassen hierbei z.B. die Leistungselektronik, den Range Extender, das Thermomanagement und den Elektromotor. Beispielsweise werden aber auch Lösungen für die Regel- und Steuerbarkeit, die Klimatisierung, die Karosserie und die Fahrgastzelle beforscht. Diese Heterogenität erschwerte zunächst die sinnvolle Einordnung der Projekte nach ihren Schwerpunkten, auch weil einige Projekte nicht nur an einer sondern an mehreren Technologien forschen. Die STROMbegleitung konnte die Telefon-Interviews nutzen, um eine Priorisierung der Technologien im direkten Gespräch abzubilden. Diese Informationen wurden verwendet, um die wesentlichen Forschungsbereiche (Technologie-Cluster) zu identifizieren.

- ➔ Die STROM-Projekte haben überwiegend das Ziel, Technologien für ein energieeffizientes elektrifiziertes Gesamtfahrzeug zu entwickeln, das z.T. individuelle Nutzerbedürfnisse berücksichtigt. Die STROMbegleitung legt den **Fokus der Analysen zu elektrifizierten Fahrzeugkonzepten auf Konzepte für den Individualverkehr, die hohes Marktpotential** besitzen und klammert mittlere bis schwere Nutzfahrzeuge sowie Konzepte für den öffentlichen Personenverkehr aus der Betrachtung aus.
- ➔ Die erforschten Technologien der Projekte E-Komfort, SEB und VeloCité werden nicht mit der gleichen wissenschaftlichen Intensität beforscht, da sie außerhalb der Struktur des Technologie-Monitorings und des inhaltlichen Schwerpunkts der STROMbegleitung liegen. Sie sollen dennoch mit Informationen und Ergebnisse der Begleitforschung versorgt sowie zu den geplanten Veranstaltungen und Plattformen zum Experten-Austausch eingeladen werden.
- ➔ Für die Projekte e generation und e production liegen noch nicht ausreichend Informationen vor, um sie sinnvoll in das Monitoring-Konzept einzuordnen. Mit den Projekten wird der Kontakt gesucht, um ausreichend Material für eine detaillierte Analyse der beforschten Schlüsseltechnologien gewinnen zu können.

Die Ergebnisse der Projektanalyse bilden den Grundstein für die weiteren Arbeiten der STROMbegleitung. Sie schließen mit der Definition relevanter Technologie-Cluster, Suchfelder und Schlüsselparameter nahtlos an die Arbeitsschritte des Technologie-Monitorings an. Als nächster Schritt werden intensive Recherchen zu markt- und technologieorientierten Fahrzeugdetails durchgeführt, um die für STROM relevanten Informationen zu identifizieren und in der Fahrzeugkonzept-Datenbank abzubilden. Mit diesen Informationen können zurückliegende marktliche und technologische Entwicklungen abgebildet und Trenddarstellungen zur zukünftigen Fahrzeugentwicklung durchgeführt werden.

- ➔ Bezüglich der Forschungsansätze konnten zwei Projektkategorien identifiziert werden: Zum einen Projekte, die einen stark **technischen Fokus** haben und konkrete technologische Entwicklungsziele anstreben und zum anderen Projekte, deren Fokus auf der Umsetzung **innovativer Fahrzeugkonzepte** unter Verwendung bereits bestehender – möglicherweise individuell angepasster – Fahrzeugtechnologien und -komponenten liegt. Für die STROMbegleitung bedeutet dies, dass für Projekte der ersten Kategorie umfangreiche Recherchearbeiten durchgeführt werden, um eine präzise Bewertung der Technologien über Patent- und Publikationsanalysen durchführen zu können. Für die Projekte der zweiten Kategorie soll ein Vergleich mit international verfügbaren Fahrzeugkonzepten durchgeführt werden, um zu erfolgsversprechenden Technologien Stellung zu nehmen.
- ➔ Die STROMbegleitung setzt sich zum Ziel, neben den technologieorientierten auch **marktorientierte Analysen zu elektrifizierten Fahrzeugkonzepten** ab dem Jahr 2001 durchzuführen. Hierfür wird eine umfangreiche Datenbank zu Fahrzeugkonzepten mit über 75 Indikatoren entwi-



ckelt, anhand derer die Entwicklung und Verbreitung von Elektrofahrzeugen sowie verwendeter Komponenten abgebildet werden kann. Die Anzahl der Indikatoren kann sich im Laufe der Forschungsarbeiten noch ausweiten.

- ➔ Das Technologie-Monitoring soll Daten zum **Stand der Technik, zu technologischen Entwicklungstrends und Potenzialen** von insgesamt 38 einzelnen Konzepten und Technologien in 6 thematischen Clustern liefern. 8 Suchfelder werden mit geringerem Detailgrad der Analysen in die Forschung mit einbezogen.

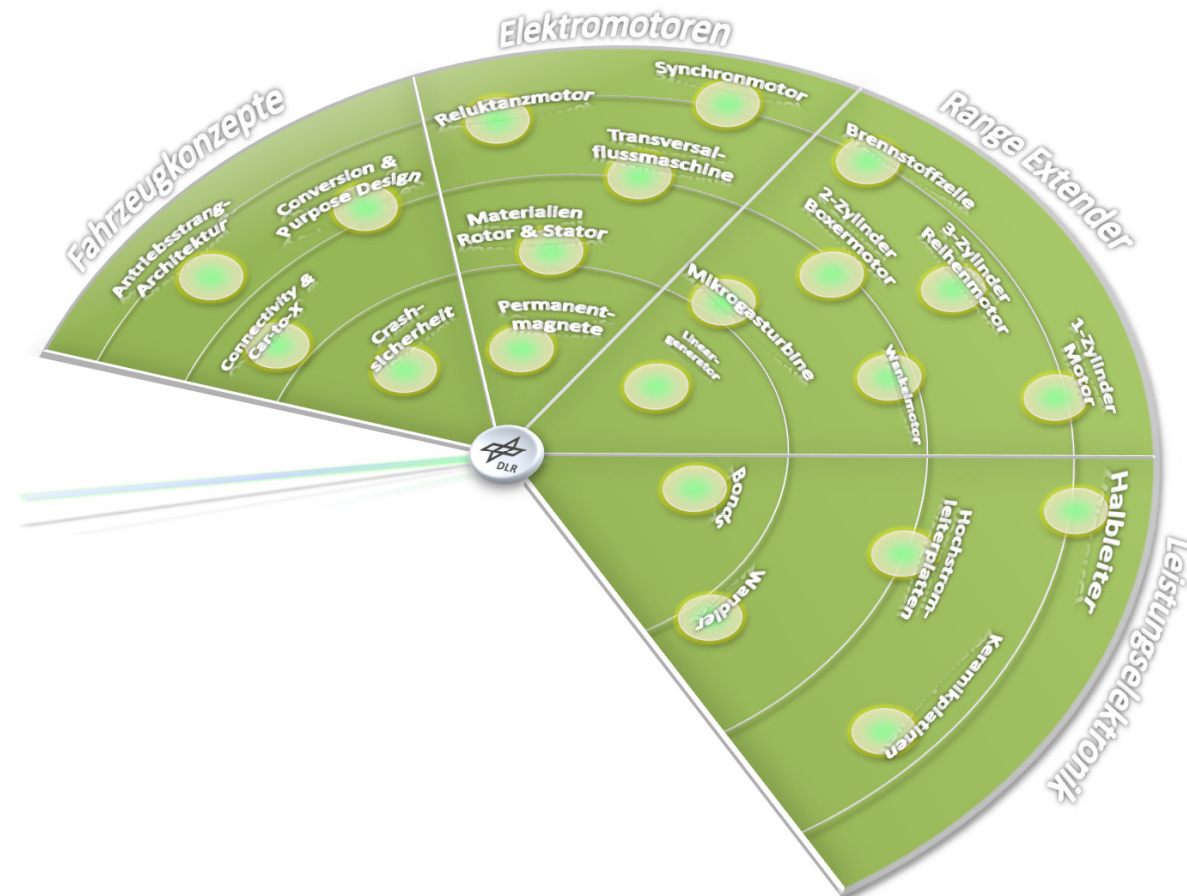
Es besteht eine Vielzahl möglicher Anwendungsfelder für Elektrofahrzeuge und viele Nutzungsformen werden in den STROM-Projekten diskutiert. Die STROMbegleitung wird Regionalstudien durchführen, um Informationen zu zentralen Veranstaltungen, führenden Institutionen, bestehenden Förderbedingungen, Kunden und internationalen Märkten zu erfassen und möglicherweise neues Nutzungspotential aufzuzeigen. Für diesen Ansatz wird in fünf Ländern eine die jeweilige Weltregion repräsentierende Studie durchgeführt.

- ➔ Ergebnisse der Projektanalyse dienen der **internationalen Beforschung zum Potenzial der Technologien in STROM**. Es gilt festzustellen, inwieweit die Inhalte der STROM-Technologie-Cluster in anderen Ländern einen Forschungsschwerpunkt darstellen. Die internationalen Rechercheergebnisse werden mit den STROM-Inhalten gespiegelt und innovative Mobilitäts- oder Geschäftskonzepte verglichen. Die Intensität von Kooperationen zwischen der öffentlichen Hand, der Industrie und der Forschung können Auskunft über den Innovationsgrad im Bereich Elektromobilität geben.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der STROMbegleitung ist es, Workshops mit den STROM-Projekten des Referats 523 durchzuführen. Die Veranstaltungen sollen zum einen dem gegenseitigen Austausch der Einzel-Projekte und der STROMbegleitung sowie der Vernetzung der STROM-Teilnehmer dienen. Zum anderen will die Begleitforschung die Workshops nutzen, um Experten-Aussagen zu technologischen Potenzialen sowie Chancen und Herausforderungen der Technologie- und Fahrzeugkonzept-Entwicklung zu generieren. Hauptdiskussionspunkt des ersten STROM-Workshops bildeten deshalb die recherchierten STROM-Schlüsseltechnologien und deren Potenziale im Vergleich zu ähnlichen technologischen Lösungen.

- ➔ Das DLR und das Wuppertal Institut haben am 25.06.2012 am Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart einen ersten Workshop mit dem Thema **„Monitoring der STROM-Technologien: Chancen und Herausforderung für Fahrzeugkonzepte von morgen“** durchgeführt. In den einzelnen Sessions wurden u.a. die beforschten Schlüsseltechnologien diskutiert. Die Workshop-Teilnehmer haben aus ihrer Perspektive Einschätzungen abgegeben, welches die wesentlichen technologischen Herausforderungen für die beforschten Schlüsseltechnologien sind und Empfehlungen für einen zukünftigen Fokus der Forschungen in den jeweiligen Technologie-Clustern diskutiert. In einer abschließenden Plenumsdiskussion wurden mögliche Auswirkungen der technologischen Entwicklung auf das Gesamtfahrzeugkonzept im Kontext der STROM-Projekte thematisiert.
- ➔ Die Workshopreihe der STROMbegleitung soll in den weiteren Veranstaltungen als **Kommunikations- und Austauschplattform** dienen, um die Projekte über globale Trends und Entwicklungen in der Fahrzeugkonzept-Forschung zu informieren. Mit der Begleitforschung zu Batterietechnologien (EMOTOR, BMBF Referat 511), durchgeführt vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, wurde ein kontinuierlicher Austausch zu den Schnittstellenthemen sowie gegenseitige Teilnahmen an den jeweiligen Veranstaltungen der Begleitforschungen vereinbart.

### III. Anhang



**Abbildung 9:** STROMbegleitung – Technologie-Radar (Illustration)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Das Technologie-Radar dient der STROM-Begleitforschung im weiteren Projektverlauf als Erkennungszeichen. Es illustriert öffentlichkeitswirksam Ausschnitte der beforschten Technologie-Cluster und Suchfelder, dient jedoch nicht der inhaltlichen Detaillierung der Arbeiten.



Jahr	2011												2012												2013												2014													
Monat	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Gesamtsystem																																																		
E2V																																																		
Innvelo																																																		
1PeFZ																																																		
Elani																																																		
Energie- /Thermomgnt																																																		
eKomfort																																																		
Kairos																																																		
HotPowCon																																																		
MHF4EV																																																		
HI-Level																																																		
P&P Range Extender																																																		
Antriebssystem																																																		
iFlux																																																		
eMoSys																																																		
ResCar																																																		
RoBe																																																		

Abbildung 10: Laufzeiten der STROM-Projekte





1.	Wen verstehen Sie als Zielgruppe ihrer Forschung? (Endanwender, Hersteller, Dienstleistungsunternehmen etc.)
2.	Streben sie die Entwicklung eines serienreifen Produktes an?
3.	Wir haben die STROM-Projekte in 6 thematische Cluster eingeteilt: Fahrzeugkonzepte, Range Extender, Elektromotoren, Leistungselektronik, Leichtbau und Thermomanagement. Ihr Projekt haben wir dem Clustern <<xxx>> zugeteilt. Ist diese Zuordnung aus Ihrer Sicht passend?
4.	Für die STROM-Projekte haben wir die folgenden Schlüsseltechnologien erfasst: << Nennung der für das Projekt identifizierten Schlüsseltechnologien >> Sehen sie weitere Technologien, die nicht aufgezählt wurden aber deren Forschungs- & Entwicklungs-Ergebnisse für sie relevant sind?
6.	Welche Parameter (z.B. Wirkungsgrad, Leistungsdichte, Gewicht etc.) wollen Sie in ihrem Projekt konkret verbessern? Was ist das Ziel?
7.	Welche Methoden, Software oder Hardware wenden Sie für die Projektarbeit an (z.B. Demonstratoren, Entwicklung eines Herstellungsverfahrens, Befragungen etc.)?
8.	Wird die Normierung oder Standardisierung der Ergebnisse angestrebt? Patentanmeldung? In welchen Bereich?
9.	Worin besteht bei Ihnen besonderes Interesse wenn es um den internationalen Vergleich der F&E Anstrengungen geht?
10.	Wir haben im Voraus folgende Informationen über ihr Projekte erhalten: Präsentation des STROM-Kick-Offs, Steckbrief. Haben Sie weitere Informationsquellen, wo sich die Begleitforschung ein näheres Bild zu ihren Arbeiten machen könnte (z.B. AP-Beschreibung, Zeitplan)? Existieren öffentlich zugängliche Informationen zu Ihrem Projekt? (Website, Broschüre etc.)
11.	Planen Sie Teilergebnisse zu veröffentlichen? In welcher Form? Wie oft?
12.	Um die Inhalte der STROM-Begleitforschung zu optimieren und koordinieren, möchten wir Sie in diesem Jahr zu einem Workshop einladen. Ziel des (ersten) Workshops ist es, einen Austausch der STROM-Fachexperten untereinander zu ermöglichen, Fortschritte des Projekts zu kommunizieren, aber auch aktuelle technologische Engpässe und Herausforderungen zu beschreiben. Über Ihre Teilnahme an dem Workshop würde wir uns sehr freuen und Sie bitten, die Teilnahme eines Projektmitarbeiters an diese Veranstaltung miteinzuplanen (Termin wird noch bekannt gegeben).

**Abbildung 11:** Interview-Leitfaden Projektanalyse